

X

NEILIU PENDI

西北典型内流盆地

水资源调控与 优化利用模式

——以黑河流域为例

S

HUIZIYUAN TIAOKONG

YU YOUHUA LIYONG MOSHI

○ 李文鹏 康卫东 等 著

地质出版社

西北典型内流盆地 水资源调控与优化利用模式

——以黑河流域为例

李文鹏 康卫东 等 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书是“十五”国土资源部重点科技计划项目 200010303 项目的研究成果。全书通过分析黑河流域水土资源开发利用、遥感蒸发计算、干流水资源特征、水资源调控条件、水资源规划与数值模拟模型、水土资源优化配置、地下水信息系统等项研究,构建起黑河流域地表水系统与地下水系统叠置于一体的二元结构的水资源系统,提出了中国西北内流盆地水资源调控与优化利用的基本思路与模式,为西北干旱内流盆地水土资源开发与生态环境治理提供了科学依据。

本书可供从事水资源合理开发利用、水土保持、生态环境保护的科技工作者以及有关高等院校地质、水利、环境等专业师生阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

西北典型内流盆地水资源调控与优化利用模式:以
黑河流域为例/李文鹏等著. —北京:地质出版社, 2010. 12

ISBN 978-7-116-06980-0

I. ①西… II. ①李… III. ①黑河-流域-水资源管理-研究 IV. ①TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 224785 号

责任编辑:叶 丹 赵俊磊

责任校对:王洪强

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话:(010) 82324572 (编辑室); (010) 82324508 (邮购部)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

印 刷:北京天成印务有限责任公司

开 本: 889mm×1194mm 1/16

印 张: 23.25

字 数: 655 千字

印 数: 1—1000 册

版 次: 2010 年 12 月北京第 1 版

印 次: 2010 年 12 月北京第 1 次印刷

定 价: 198.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-06980-0

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

“十五” 国土资源部重点科技计划项目

项目编号: 200010303

项目名称: 西北典型内流盆地水资源调控与优化利用模式

主持部门: 国土资源部

组织部门: 国土资源部国际合作与科技司

承担单位: 中国地质环境监测院

参加单位: 石家庄经济学院

甘肃省地质环境监测院

西北大学

中国科学院地理科学与资源研究所

协作单位: 甘肃省第二水文地质工程地质大队

内蒙古水文地质工程地质中心

黄河水利委员会黑河流域管理局

张掖地区水电处和各县水利局

项目负责人: 李文鹏 郝爱兵

主要完成人: 李文鹏 康卫东 刘振英 郝爱兵 黎志恒 李双成 赵 成 郑跃军

杨小荟 李俊亭 杨俊仓 李小梅 白 福 傅小峰 史生胜 张顺宝

武选民 王秀红 张荷生 牛平山 程旭学

参加人员: 王润兰 李桂芹 张燕君 牛海波 李励红 李海涛 郭海朋 徐光杰

常炳炎 高会君 吴 宏 张军涛 李利锋 张 川 罗跃初 寇文杰

宋寿鹏 张志辉

顾 问: 张宗祜 沈照理 哈承佑 邱新飞

前 言

本书是“十五”国土资源部重点科技计划项目 200010303 项目“西北典型内流盆地水资源调控与水资源优化利用模式”的研究成果。该项目立足于内流盆地水、土与生态这一复杂系统实体，以黑河干流平原区为典型研究区，以水循环与水资源可持续利用为主线，兼顾考虑其他要素，研究西北内流盆地水资源调控的评价理论和预测方法，提出适合于西北内陆典型流域的技术可行、经济合理、社会认同的水资源开发利用模式，为西北其他地区提供水资源可持续利用的范例。

研究项目设置了 5 个课题：①西北内流盆地地下水资源地理信息系统研究；②水资源系统分析与宏观调控方案研究；③水资源特征及其规划模型研究；④内流盆地地表水与地下水联合调控模拟与预测模型研究；⑤内流盆地水、土资源利用与生态协调发展模式研究。项目研究以水资源系统与宏观调控方案分析为切入点，以区域地下水资源地理信息系统为资料基础，以水资源规划和地表水与地下水联合调控模拟与预测联合模型为技术手段，综合考虑经济社会发展和生态环境保护需要，利用内流盆地河流-含水层系统的特点，遵循地表水、地下水转化规律，建立流域平原区水资源动态规划模型，提出从现状水资源利用状态向可持续管理状态过渡的水资源调控和优化利用初步方案；进而建立流域平原区地表水和地下水耦合数值模型，以近 30 年来水资源开发利用情况和地下水动力场的变化过程作为模型校正依据，模拟预测不同水资源开发利用方案下地下水系统的变化趋势；通过不同方案的技术经济可行性和社会认同程度的论证，提出水、土资源合理开发与高效利用的模式。

本书是在中国地质环境监测院、石家庄经济学院、甘肃省地质环境监测院、西北大学、中国科学院地理科学与资源研究所编写的课题研究报告和项目研究报告的基础上，由中国地质环境监测院负责编写完成的。因此，本成果乃是集体创作，是项目与课题的承担单位和协作单位以及科研人员通力合作的结果。

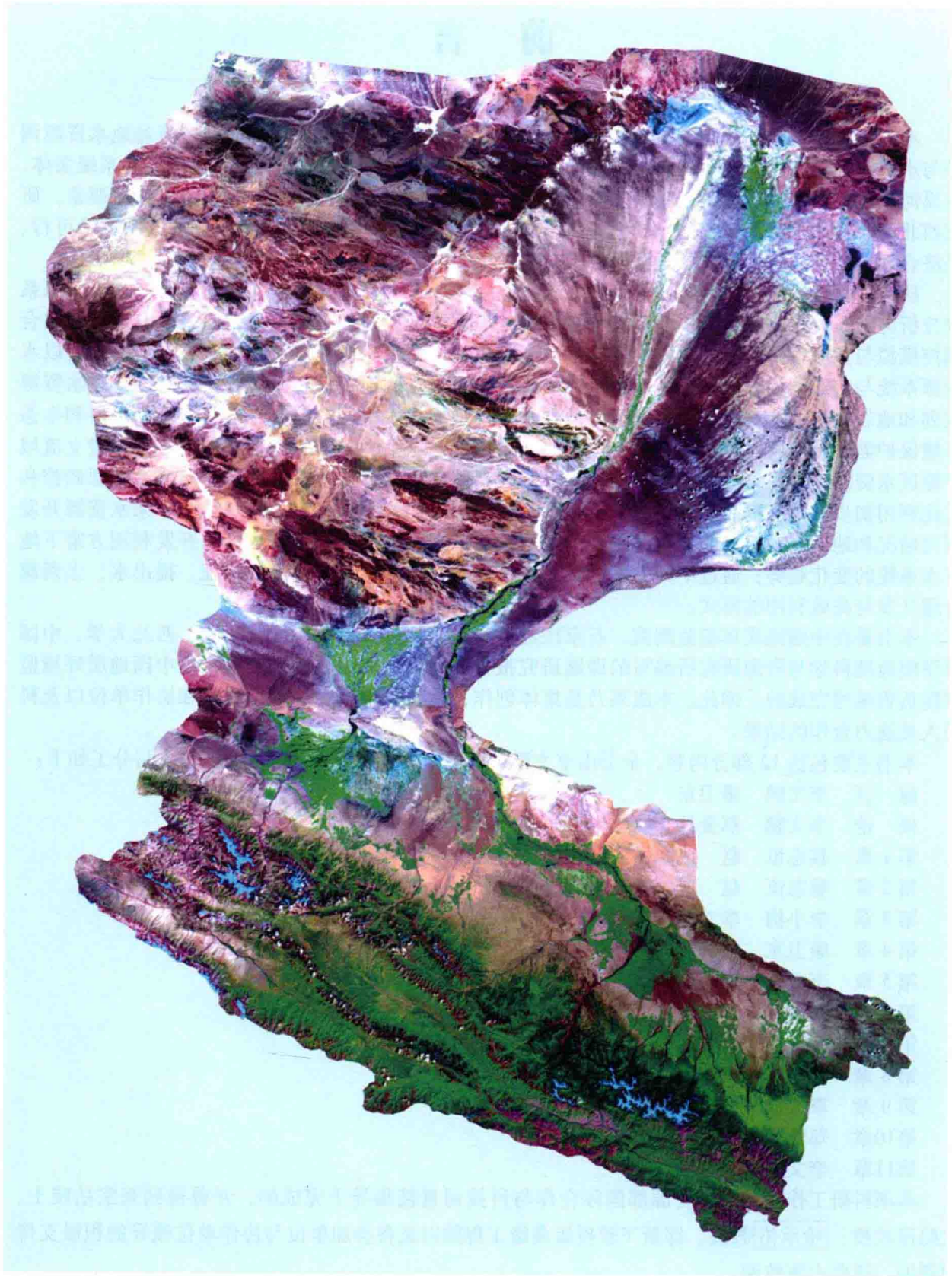
本书主要包括 12 部分内容，全书由李文鹏、康卫东负责统编，各部分的执笔人与分工如下：

前 言	李文鹏	康卫东		
概 论	李文鹏	郝爱兵		
第 1 章	黎志恒	赵 成	杨俊仓	白 福
第 2 章	黎志恒	赵 成	杨俊仓	白 福
第 3 章	李小梅	李文鹏		
第 4 章	康卫东	王润兰	李俊亭	
第 5 章	李文鹏	郝爱兵		
第 6 章	郝爱兵	李文鹏		
第 7 章	康卫东	李文鹏		
第 8 章	刘振英	李文鹏		
第 9 章	李双成	傅小峰	王秀红	
第 10 章	郑跃军	李文鹏		
第 11 章	李文鹏	康卫东		

本项科研工作是在国土资源部国际合作与科技司直接指导下完成的，并曾得到张宗祜院士、沈照理教授、哈承佑教授、邱新飞教授级高级工程师以及各参加单位与协作单位领导的积极支持和帮助，谨此由衷致谢。

作 者

2010 年 10 月



黑河流域 2000 年 ETM 遥感影像

目 录

0 概 论	(1)
0.1 项目研究现状及发展趋势	(1)
0.2 项目研究的总体目标	(3)
0.3 项目研究的技术路线	(4)
1 区域地质背景与生态环境特征	(6)
1.1 自然地理与经济社会概况	(6)
1.2 区域水文地质条件	(14)
1.3 流域平原区生态环境特征	(33)
1.4 本章小结	(37)
2 水土资源开发利用现状及存在问题	(39)
2.1 黑河流域现状水资源	(39)
2.2 水土资源开发利用现状	(51)
2.3 水资源开发存在的主要问题	(58)
2.4 本章小结	(62)
3 黑河流域遥感蒸发计算研究	(65)
3.1 蒸发研究进展	(65)
3.2 NOAA 数据估算蒸发量的参数化方案	(66)
3.3 计算结果验证	(77)
3.4 本章小结	(79)
4 黑河流域水资源系统分析	(80)
4.1 流域水资源系统	(80)
4.2 干流水文特征分析	(85)
4.3 渠道引水与地下水开采特征	(90)
4.4 河流入渗机理	(95)
4.5 降水与灌溉水入渗规律	(110)
4.6 地下水蒸发及盐分运移与聚集模式	(111)
4.7 地下水位下降及其成因分析	(120)
4.8 地下水溢出量及其衰减机制	(123)
4.9 河道下泄量及其控制因素	(134)
4.10 黑河干流水资源均衡分析	(143)
4.11 本章小结	(143)
5 水资源调控与优化利用的基本思路	(150)
5.1 总体思路	(150)
5.2 黑河干流水资源系统概化	(150)
5.3 黑河干流水资源优化利用目标与主要调控方向	(152)
5.4 本章小结	(153)

6 黑河干流水资源调控条件与宏观调控模式 (155)

6.1 张掖盆地的水资源调控条件 (155)

6.2 鼎新谷地的地下水开发条件与水资源优化利用 (163)

6.3 额济纳平原的水资源合理利用 (164)

6.4 黑河干流水资源宏观调控模式 (176)

6.5 黑河干流水资源宏观调控模式的意义 (177)

6.6 本章小结 (177)

7 黑河干流水资源调控与优化利用的非线性规划模型研究 (183)

7.1 0-1 多目标非线性混合规划模型的构建 (183)

7.2 水资源规划模型的数据与参数 (188)

7.3 规划模型数据与参数的检验和调试 (192)

7.4 2010 年水资源规划及其优化成果分析 (200)

7.5 各阶段的水资源规划方案及其优化成果分析 (213)

7.6 干流水资源合理配置 (220)

7.7 实现国务院分水方案的保障措施 (229)

7.8 本章小结 (231)

8 黑河干流中游平原区水资源调控与优化利用的数学模拟模型研究 (233)

8.1 中游平原区水资源数学模型 (233)

8.2 水资源数值模型校验及现状地下水均衡分析 (238)

8.3 中游平原区水资源调控优选方案模拟预测分析 (241)

8.4 平原区开采潜力模拟分析 (245)

8.5 本章小结 (251)

9 黑河流域社会经济发展与水土资源利用优化配置研究 (253)

9.1 引言 (253)

9.2 黑河流域社会经济状况 (254)

9.3 黑河流域水土资源及其空间格局 (256)

9.4 基于水土资源约束的社会经济生态协调发展方案 (261)

9.5 水土资源合理利用案例研究——以张掖地区为例 (288)

9.6 本章小结 (297)

10 黑河流域水资源信息系统 (300)

10.1 系统总体框架 (300)

10.2 数据库设计 (305)

10.3 基本功能 (308)

10.4 本章小结 (342)

11 结论与建议 (344)

11.1 主要结论 (344)

11.2 存在问题与建议 (357)

参考文献 (358)

0 概 论

0.1 项目研究现状及发展趋势

从世界范围看,干旱-半干旱地区开发利用地下水已有悠久的历史。尤其是最近几十年来,随着一些干旱-半干旱国家或地区社会经济的不断发展,用水量日益增长,从而促使他们加快了地下水资源勘查评价及有关水文地质工作的步伐,并由此取得了突破和进展。

地下水(包括深层地下水)资源的大量开发利用,一方面不仅保证了干旱地区人民的生活用水需求,而且有力地促进了干旱地区的社会进步和经济发展。另一方面,地下水资源由于受补给所限,尤其是深层承压水基本上是一种非再生的水资源,如果无计划或不科学地过度开采,将会带来一系列生态-环境地质问题,如导致含水层枯竭、水质恶化、土地沙化和土地盐碱化等,甚至还可能危及子孙后代的“水安全”和经济社会的可持续发展。有的国家或地区由于过度开采地下水资源,已开始出现地下水资源枯竭、水质变差、供水能力逐渐下降、土地沙化和盐碱化等严重问题。所幸的是,水的问题许多干旱国家或地区都已经意识到并采取措施开始着手解决这些问题,他们在不断加强地下水资源勘查评价的基础上,越来越重视地下水开发利用战略的制定与选择、地下水储蓄和调配工程的建设以及地下水资源的管理和立法,从而使地下水资源利用正进入到一个更加科学、合理的新阶段。

20世纪90年代以来,国际上关于区域沉积盆地地下水的赋存规律和运移机制有两种截然不同的观点:一是以水力连续性为基础的水文模型——径流模型;二是以水力不连续性为基础的滞留(Stagnant)模型,提出了“滞留含水层”的概念。

干旱区地下淡水勘探技术的进展主要表现在遥感技术与GIS的结合、不断完善的物探技术及其解译技术的计算机化。

总之,干旱区水文地质研究是水文地质学的一个重要研究领域,也是各国水文地质学家关注的热点之一,特别是20世纪80年代以来系统工程理论和方法的引入,同位素技术、遥感技术、计算机等的应用,地球物理勘探(磁法、核磁共振)、钻探水平的提高,大大推进了干旱区水文地质研究的发展。目前,许多国家日益重视干旱区水资源的持续利用,将地下水资源与生态-地质环境保护结合在一起进行研究评价。

为了满足我国国民经济发展的需要,从1956年起,地质部在河西走廊进行了1:20万地质、水文地质综合测绘。与此同时,地质部水文地质工程地质研究所阎锡屿、段永侯等人,结合当时生产需要及我国12年科学规划,开始了我国干旱及半干旱地区水文地质条件的研究,并发表了有关重要的论著,阐明了我国西北内陆盆地山前冲洪积平原水平分带特征。1956~1958年期间,陕西、甘肃、青海、新疆等省、自治区相继建立了水文地质工程地质队,开始了1:50万、1:20万水文地质调查。水利部门和中科院系统也进行过许多与水土资源开发利用有关的考察和研究工作。具代表性的工作有:①甘肃省地质研究所范锡朋教授主笔的《甘肃省河西走廊地下水资源分布规律和合理开发利用报告》;②地质矿产部“七五”科技攻关项目“西北地区地下水资源评价及合理开发利用研究”;③1996~1999年,中国科学院兰州冰川冻土研究所国家“九五”攻关专题

“黑河流域水资源合理利用与社会经济和生态协调发展研究”。

近 20 年来,随着系统理论分析方法的引入和同位素、遥感、计算机技术和先进物探手段等的应用,内陆干旱区的地下水勘查与研究得到迅速发展。通过“九五”攻关项目的整体研究,对上中下游兼顾,水资源开发与生态环境保护并重,地表水和地下水联合调度得到了更广泛的共识,取得了不少重要的成果,但很多方面研究深度还不够,尤其是一些可操作的实施方案尚待进一步研究。鉴于西北内流盆地水资源的形成、演化和分布规律,甚至水资源的开发方式及其存在的生态-环境地质问题都具有很大的相似性,在流域尺度上,开展西北地区典型流域水资源利用与生态-地质环境保护试验和示范工程的研究,将具有很好的代表性和推广应用的前景。

干旱地区社会经济-水资源-生态环境之间如何协调发展等问题,已引起了国际社会的广泛关注和高度重视。近年来,日益频繁的国际合作与学术交流为开展本项目提供了许多可借鉴的新技术和新思路。瑞士苏黎世工业大学水力学与水资源研究所(EHT)承担全球可持续发展项目 Alliance for Global Sustainability(AGS),与美国麻省理工学院和日本东京大学联合开发了水资源持续管理系统的模型和方法,特别重视农业用水和干旱区盐分的运移。同时新的环境同位素示踪技术(CFC, $T/{}^3\text{He}$, 稳定同位素),与示踪元素和盐分运移耦合的水循环模拟,利用卫星影像识别蒸发强度,校验模型参数,确定水资源开发战略的优化方法在干旱地区取得了良好的效果。尤其是荷兰德尔福特(Delft)国际建设、水利与环境工程学院(International Institute of Infrastructure, hydraulics and Environment Engineering)和荷兰应用地学研究所开发的区域地下水地理信息系统(REGIS),为地下水资源的开发与管理提供了有力的工具。

以色列是一个严重干旱缺水的国家,大部地区属于干旱或半干旱区,其中干旱区面积占国土面积的 60%。水资源时空分布不均,北部和西部年均降雨量 400 ~ 800mm,向东向南急剧减少,南部的内盖夫沙漠地区降水量在 50mm 以下;降雨主要发生在冬季(11 月至次年 3 月)。以色列水资源的调控经验是:充分利用地表水资源,实施调水工程;充分利用边际水资源(污水、咸水、海水及暴雨洪水);在沿海平原含水层建立地下水库;从国外进口水;采用先进的节水灌溉技术;重视水资源的管理。其中北水南调工程把以色列唯一的淡水湖——北部的加利利湖的水引到干旱的南部地区,使南部的不毛之地变成了一片片绿洲,称为国家输水工程(National Water Carrier)。该工程于 1964 年建成并投入运转,输水管道包括地下管线、明渠、中继性水库和暗渠隧道。年供水量 $4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。沿途设多座泵站加压,并吸纳全国主要地表水和地下水,同时向外辐射出供水管道,与各地区的供水管网相连通,形成全国统一的调配水系统。这条输水管道不仅是主要的供水系统,而且还能接纳北部冬天和早春多余的水,向沿海地区的含水层补给水源,有效地防止因地下水位下降造成的海水倒灌。在沿海平原含水层建立地下水库。以色列沿海平原含水层储水潜力大,且其东部地区大部分含水层是未饱和的。以色列在沿海平原建立地下水库用于贮存冬季(或降水大的年份)多余的雨水、灌溉渗漏水及回收污水,在需要用水时,再抽出来使用。以色列的滴灌技术给农业灌溉赋予了新概念,为世界干旱区农业发展树立了榜样。该技术由计算机系统自动控制。相对于其他灌溉方式,滴灌是最有效的节水方法,水分利用率(WUE)可达 95%,而表面灌溉只有 45%,喷灌为 75%。滴灌技术的采用使以色列的农业用水大大减少,可以腾出更多的水用于其他用途。

众所周知,美国水资源地区分布不均,西部地区气候较为干旱,年降水量不足 200mm,最低的仅为 50mm。中西部地区地下水受到严重超采,地下水位持续下降,引起了地面沉降、海水入侵等严重问题。美国对水资源的调控措施是:在西部干旱区修建引水工程;限制地下水开采量,进行地下

水人工补给；重视废水循环利用；普遍推广农业节水灌溉；重视水资源的管理。为开发西部，仅1933~1943年联邦政府就批准兴建了34个灌溉与调水工程。加利福尼亚州南部地区原本是沙漠地区，年降雨量很少，在美国西部开发中，通过从科罗拉多河引水，供应加利福尼亚州南部地区的用水需求。20世纪50年代，加利福尼亚州进一步实施了北水南调工程，将加利福尼亚州北部的水引到南部，为南部地区的发展提供了坚实的基础。美国西南部亚利桑那州的盆岭地区极为干旱，建设了中亚利桑那工程（CAP），该工程从科罗拉多河引水到亚利桑那州的盆岭地区，工程渠道总长540km，每年输水 $22 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

近十余年来，地表水和地下水联合调蓄与优化利用已成为流域尺度水资源科学利用研究的热点，国际上含水层储存与利用（Aquifer Storage and Recovery，简称ASR）研究越来越受到重视，而且得到广泛应用。美国佛罗里达州夏灌冬用，解决了冬季渡假用水不足；荷兰利用沿海沙丘区，用净化后的莱茵河水回灌沙丘含水层，再回采用于海牙和阿姆斯特丹两大城市供水，回采水量占到回灌水量的80%，并有效地控制了海水入侵；瑞士苏黎世市采用傍河取水—回灌含水层—再回采利用模式，使水源通过含水层再自净，既减少了化学处理费用，也杜绝了化学处理可能导致的二次污染，达到优质供水的目的。我国北方沿海城市利用河流盆地构筑地下水库，也取得了很好的效果。到目前为止，最难解决的问题依然是可供回灌的水量不足及可供回灌的时间有限，加之地下水补给过程中的气滞阻水，使多数回灌补给效率不高。

总之，流域尺度的水土资源利用、经济社会可持续发展、生态环境保护三位一体的综合研究和实践，越来越受到社会和学者的重视，已成为多学科综合研究与工程示范的热点问题之一。

0.2 项目研究的总体目标

0.2.1 总体目标

以黑河干流平原区为代表，在分析流域水资源的利用现状和存在问题的基础上，研究西北内陆盆地水资源调控的评价理论和预测方法，提出适合于西北内陆典型流域，技术可行、经济合理、社会认同的水资源开发利用模式，为西北其他地区提供水资源可持续利用的范例。

0.2.2 具体目标

- 1) 参考荷兰应用地学研究所（TNO-NITG）开发的具有国际先进水平的区域地下水地理信息系统（REGIS）的优点，开发基于适合中国西北干旱区的区域地下水地理信息系统。
- 2) 以国际上普遍应用的地下水模型核心软件MODFLOW为基础，开发地表水与地下水联合调控和模拟预测软件系统，完善泉水溢出、蒸发蒸腾、河渠田间入渗和生态耗水等方面的模型模块。
- 3) 引进利用卫星遥感数据估算蒸发量的理论方法，应用于黑河流域典型地下水浅埋带。
- 4) 提出与土地利用和生态相协调的水资源合理开发模式和水资源调控方案，优化给出不同地区土地开发方向、种植结构调整建议。

0.2.3 主要内容

- 1) 建立流域尺度的区域地下水地理信息系统，内容以地下水为主，涉猎地质、水文、气象、土地、生态、社会、经济等有关内容；数据库结构设计充分考虑水资源管理的便利，为本项目和后续研究奠定资料基础。

2) 系统分析流域水资源利用现状和存在问题, 论证区域地下水资源开发潜力, 研究流域尺度上, 上、中、下游之间地表水和地下水联合调控的多种可行方案, 并加以比较分析。

3) 研究流域平原区地表水与地下水定量转化关系, 分析山前地下水库的水资源调蓄功能, 建立流域上、中、下游之间, 地表水和地下水之间联合调控的模拟与预测模型, 探讨并初步提出西北内流盆地水资源调控的评价理论和方法。

4) 以上述工作为基础, 会同当地政府部门, 根据自然条件和经济发展水平, 论证水、土资源承载能力和经济发展方向, 制定技术可行、经济合理、社会认同、生态环境良性循环的全流域水、土资源开发利用方案和相应的政策、管理机制, 提出内流盆地水、土资源利用与生态协调发展模式。

0.3 项目研究的技术路线

0.3.1 研究方法

1) 强调多学科综合研究。基于水、土资源可持续利用的思想和观点, 利用系统分析的理论和方法, 把地表水和地下水资源与土地资源、生态环境作为一个有机整体, 综合考虑上、下游之间水、土资源开发利用与经济发展和环境保护之间的关系, 开展地学、水文学及水资源、农学、生态学、环境科学及社会学等多学科的研究。

2) 注重应用先进的勘查与研究手段, 如 3S 技术、同位素技术、计算机仿真技术等, 提高野外工作效率和精度, 增强综合分析问题的能力, 实现资料处理的自动化和成果的数字化, 达到节省经费、提高科学研究水平的目的。

3) 引进与开发并重, 开展必要的国际合作研究。与瑞士苏黎世理工大学和荷兰国际基础工程、水利与环境工程学院合作开展中国西部水资源可持续开发与管理, 引进水资源可持续管理模拟计算软件、卫星遥感数据估算蒸发量软件和区域地下水地理信息系统软件等。

4) 为更好地服务于社会经济的发展, 强调科技人员与地方政府部门的密切配合和协作, 充分重视科技成果的可实现性和可操作性, 使政府和公众容易理解和接受。

0.3.2 技术路线

本项目立足于内流盆地水土资源、经济社会与生态这一复杂系统实体, 以水循环与水资源可持续利用为主线展开研究, 兼顾考虑其他要素。为实现研究目标, 将该项目分解为以下 5 个课题: ①西北内流盆地区域地下水资源地理信息系统研究; ②水资源系统分析与宏观调控方案研究; ③水资源特征及其规划模型研究; ④内流盆地地表水与地下水联合调控模拟与预测模型研究; ⑤内流盆地水、土资源利用与生态协调发展模式研究。这 5 个课题中, 以水资源系统分析与宏观调控方案研究为切入点, 以区域地下水资源地理信息系统为资料基础, 以水资源规划和地表水与地下水联合调控模拟与预测联合模型为技术手段, 综合考虑经济社会发展和生态环境保护需要, 利用内流盆地河流-含水层系统的特点, 遵循地表水、地下水转化规律, 建立流域平原区水资源动态规划模型, 提出从现状水资源利用状态向可持续管理状态过度的水资源调控和优化利用初步方案; 进而建立流域平原区地表水和地下水耦合数值模型, 以近 30 年来水资源开发利用情况和地下水动力场的变化过程作为模型校正依据, 模拟预测不同水资源开发利用方案下地下水系统的变化趋势; 通过不同方案的技术经济可行性和社会认同程度的论证, 提出水、土资源合理开发与高效利用的模式。

项目总的技术路线见图 0.1, 水资源调控、规划与模拟预测联合模型框图见图 0.2。

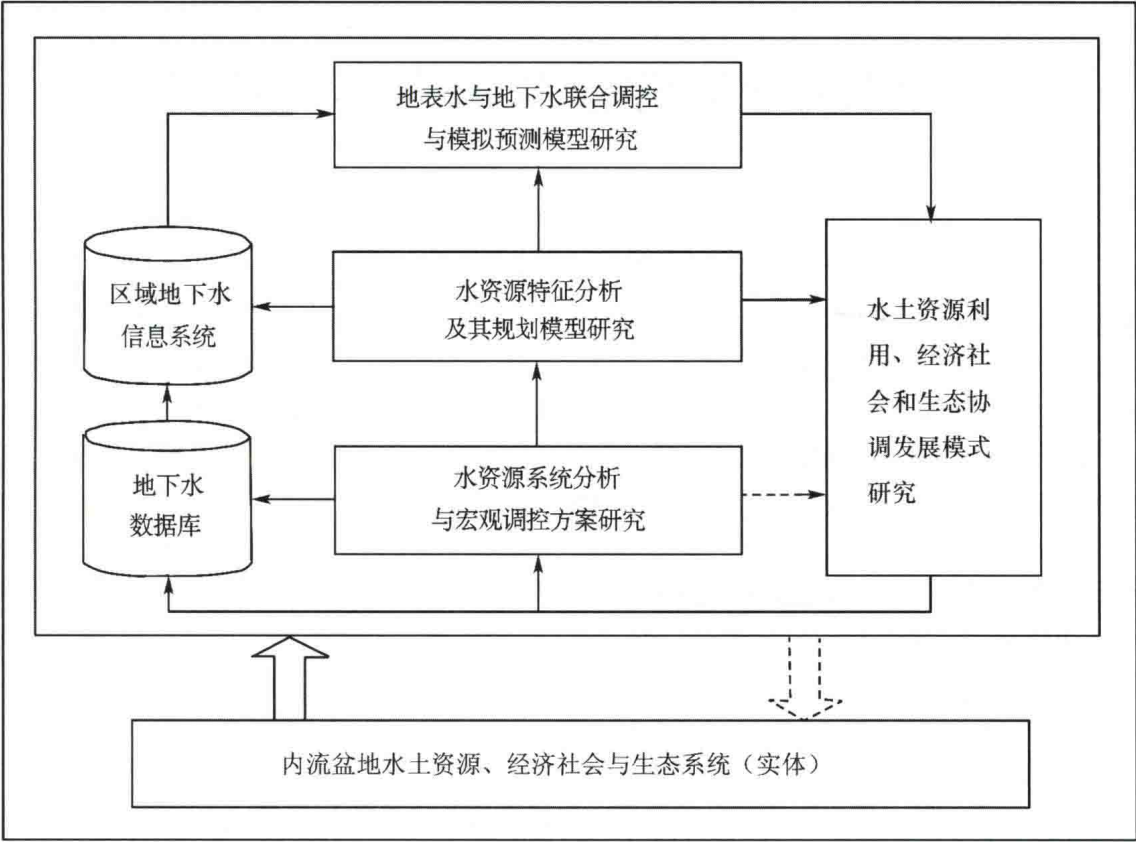


图 0.1 项目总的技术路线框图

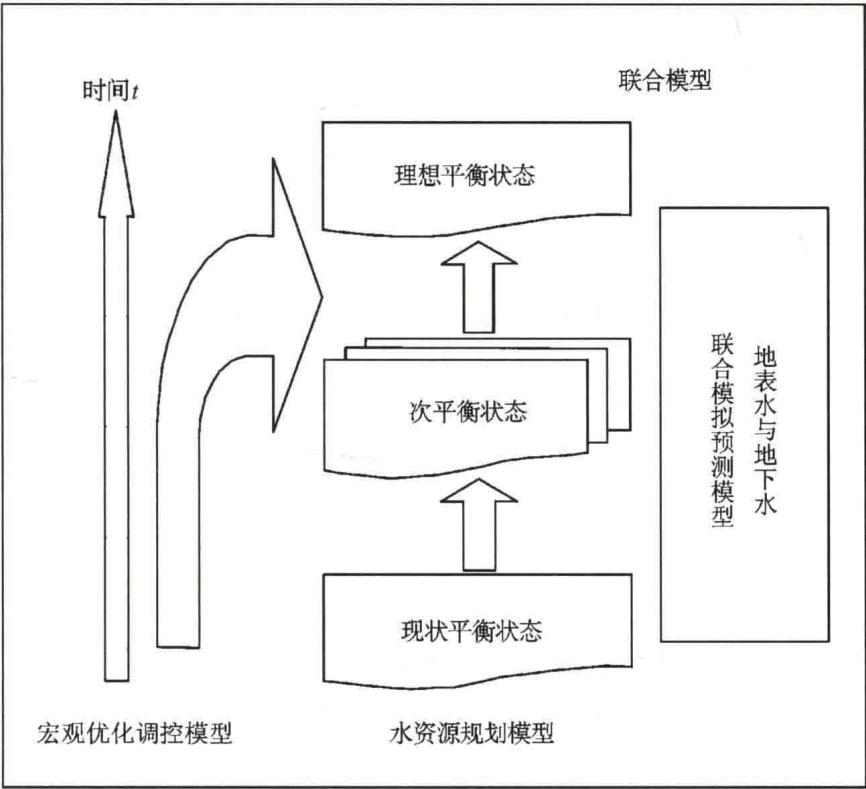


图 0.2 水资源调控、规划与模拟预测联合模型框图

1 区域地质背景与生态环境特征

1.1 自然地理与经济社会概况

黑河流域是我国西北地区较大的内陆河流之一，位于祁连山和河西走廊的中段，东、西分别以山丹县境内的大黄山和嘉峪关境内的黑山为界，与石羊河流域、疏勒河流域接壤，南起祁连山分水岭，北至终端居延海，地理坐标：东经 96°04′ ~ 102°04′，北纬 37°45′ ~ 42°40′，东西宽 390km，南北长 510km，总面积约 12.8×10⁴km²。该流域行政区分属青海省海北藏族自治州，甘肃省张掖市、酒泉市和嘉峪关市，以及内蒙古自治区额济纳旗，包括三个省（自治区）的五地（州、市、盟）、11 县（区、市、旗）和东风场区（酒泉卫星发射中心）。区内交通较为方便，兰—新铁路、甘—新公路横穿流域平原东西部，为区内主要交通干线，而各县、乡之间均有公路相通（图 1.1）。

1.1.1 气象与水文

1.1.1.1 气象

黑河流域深居内陆，属中纬度高海拔地区，气候垂直和水平差异明显。上游南部山区属高寒半干旱区，其特点是气候寒冷而湿润，四季变化不明显，冬季长而冷，春、秋季相连，夏季短暂；多年平均气温 0.5℃，最高气温 30.5℃，最低气温 -31℃，最大冻土深度达 2.5m，多年均降水量 400 ~ 500mm/a，蒸发量小于 1000mm/a。中、下游的走廊平原和额济纳平原属于河西冷温带—暖温带干旱区，区内降水稀少，蒸发强烈，日照长，昼夜温差大，盛行西北风，属典型的大陆性干旱气候；中游盆地降水量 100 ~ 150mm/a，蒸发量 1400 ~ 1600mm/a，下游盆地降水量减少至 50mm/a 以下，蒸发量增至 2200mm/a 以上，沙漠地区蒸发量在 3000mm/a 以上。流域内多西北风，盛行沙尘暴，8 级以上大风多年平均出现 15 ~ 19 天，下游荒漠区 40 ~ 50 天，最多年份走廊平原区 35 ~ 40 天，下游荒漠区达 75 天；沙尘暴日数大部分地区超过 13 天，金塔和额济纳旗高达 20 天以上（表 1.1）。

表 1.1 黑河流域多年平均主要气象要素统计表

流域	县 (区)	测站海拔 m	气温/℃			降水量 mm/a	蒸发量 mm/a	大风日数 d	沙尘暴日数 d	年最多 次
			年均	极高	极低					
上游	祁连县	2787.4	0.7	30.5	-31.1	391.4	1529.8			
	肃南裕固 族自治县	2311.8	3.6	2.4	-27.6	253.0	1784.6			
中游	山丹县	1764.6	5.8	37.8	-33.3	196.2	2245.8	17.4	9.1	25
	民乐县	2271.0	2.8	31.7	-30.5	328.2	638.4	1.2	3.5	9
	甘州区	1482.7	7.0	38.6	-28.7	129.0	2047.9	14.9	20.3	33
	临泽县	1453.7	7.6	39.1	-28.0	113.4	2341.0	21.7	13.1	29
	高台县	1332.2	7.6	38.7	-31.0	104.4	1932.4	9.1	16.1	26
	肃州区	1477.2	7.3	38.4	-31.6	85.3	2148.8	25	14.7	
下游	金塔县	1270.2	8.0	38.6	-29.0	59.9	2538.6	40	27.0	
	额济纳旗	940	8.2	43.1	-37.6	47.3	3755.5	53	19.7	29

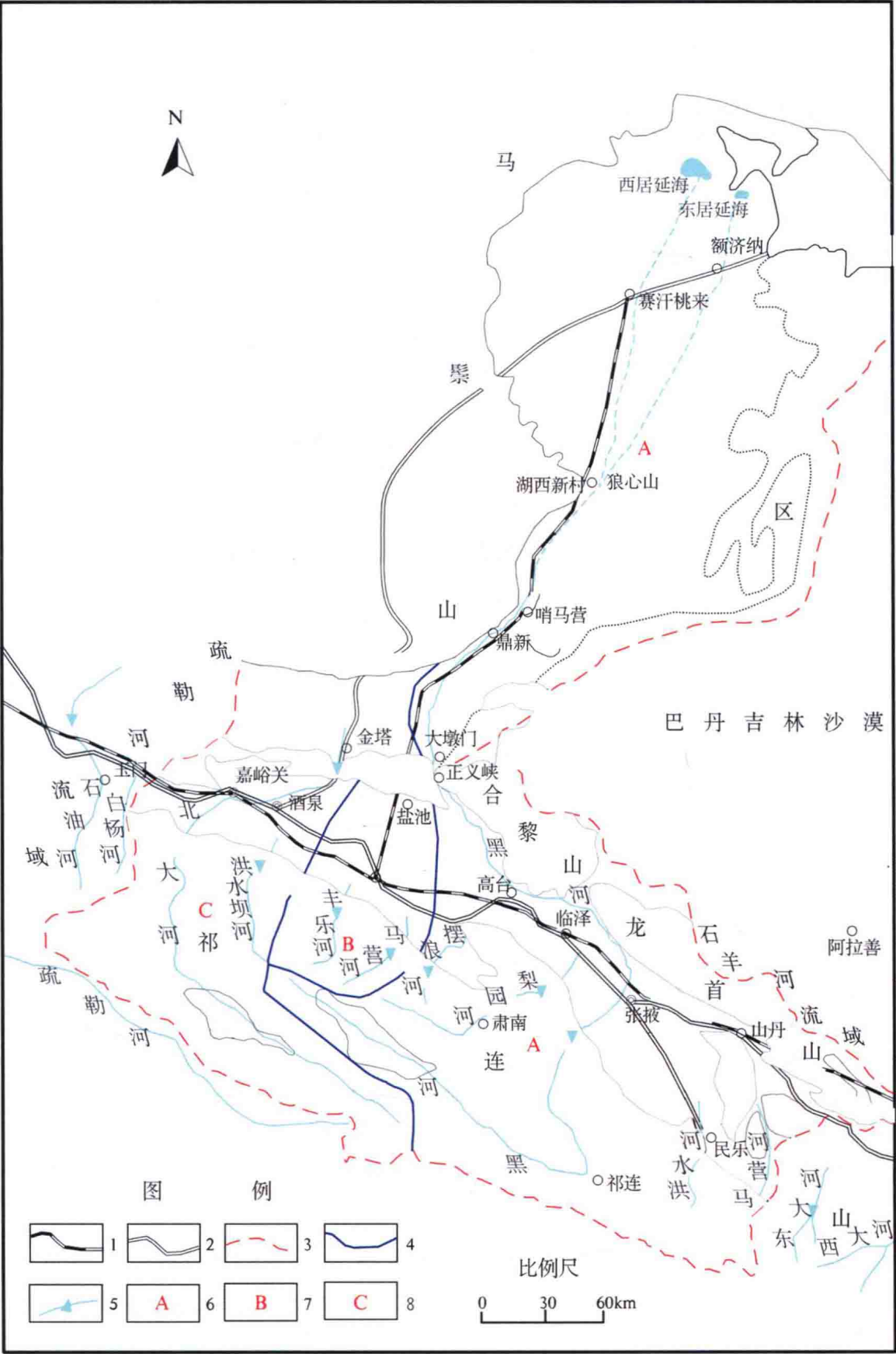


图 1.1 黑河流域交通与水系图

1—铁路；2—公路；3—流域界线；4—水系界线；5—河流及水库；6—东部子水系；7—中部子水系；8—西部子水系

黑河流域气温、降水量、蒸发量等气象要素的时空变化明显。流域内的多年平均降水量随海拔的升高而增加，多年平均气温与蒸发量随海拔的升高而减少。降水量、蒸发量、气温的年际变化较大，但没有明显的升降趋势，具有周期性变化，一般4~6年为一个循环小周期，10年左右为一个循环大周期；降水量、蒸发量、气温的年内变化均呈单峰形态，降水主要集中在7、8、9三个月，三个月的降水量约占全年降水量的60%左右（图1.2）。

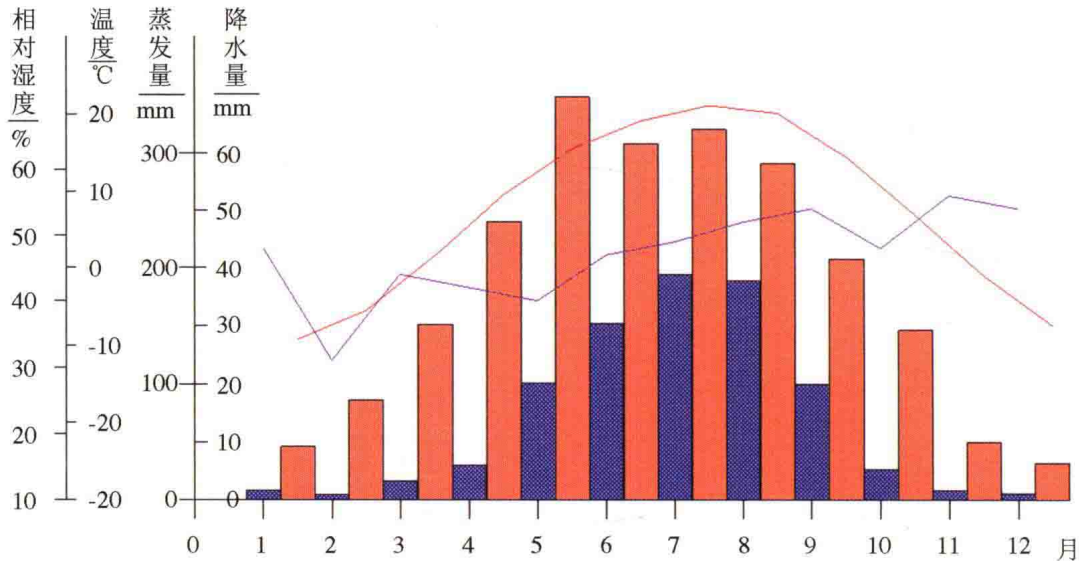


图 1.2 张掖气象站气象要素图

1.1.1.2 水文

(1) 河流

黑河流域水系由35条独立的河流（沟道）组成，除个别小河流发源于流域东部的大黄山外，其他河流均发源于南部的祁连山区。依据区域地表水与地下水的水力联系及其归属，可分为东、中、西三个子水系（图1.1）。东部子水系由黑河干流和梨园河及其左右20条小河组成，除梨园河外，其余各河水量很小，出山后即被引灌或渗失于山前冲积扇，没有地表水注入黑河；中部子水系为酒泉马营河-丰乐河诸小河流域，为浅山短流，归宿于肃南裕固族自治县明花区-高台盐池；西部子水系为酒泉洪水河-北大河水系，亦为浅沟短流，只有洪水河和北大河可贯穿酒泉盆地，北大河经鸳鸯池水库进入北部金塔盆地。黑河流域各河流汇水面积大于100km²的有19条，全流域多年平均出山径流量37.69×10⁸m³/a。

黑河干流是黑河流域最大的河流，发源于青海省祁连县，其上游分东、西两支，东支俄博河又名八宝河，发源于俄博河滩的锦阳岭，自东向西流，河长80km；西支野牛沟，源于“五河之源”的团结峰，自西向东流，河长190km。东、西两支流在黄藏寺汇合后折向北流，黑河流至张掖城西北10km处由山丹河折向西北流，经高台汇梨园河等河流，于正义峡穿越北山，流经金塔鼎新盆地，改称额济纳河（古弱水），在“狼心山”附近，额济纳河分为东、西两河，东河称为“达西敖包河”，西河称“穆林河”，两河向下又分成19条支叉，向北分别注入内蒙古额济纳旗境内的东居延海（索果淖尔）和西居延海（嘎顺淖尔），全长约821km。

黑河属于降水补给型河流，多年径流组成降水占52.4%，地下水占37.8%，冰川融水占9.8%。受降水及产流条件影响，汛期6~9月径流量占全年径流量的80%（梨园堡）~55%（冰沟）。最大径流出现在7~8月，最枯径流出现在1~2月，流域面积越小，径流集中的程度越高（图1.3）。

黑河径流量多年动态相对稳定，年际水量变化Cv值小于2.0，频率分析显示径流量年际动态存在19年的长周期和8年的短周期变化，目前处于相对平水的时段（图1.4）。

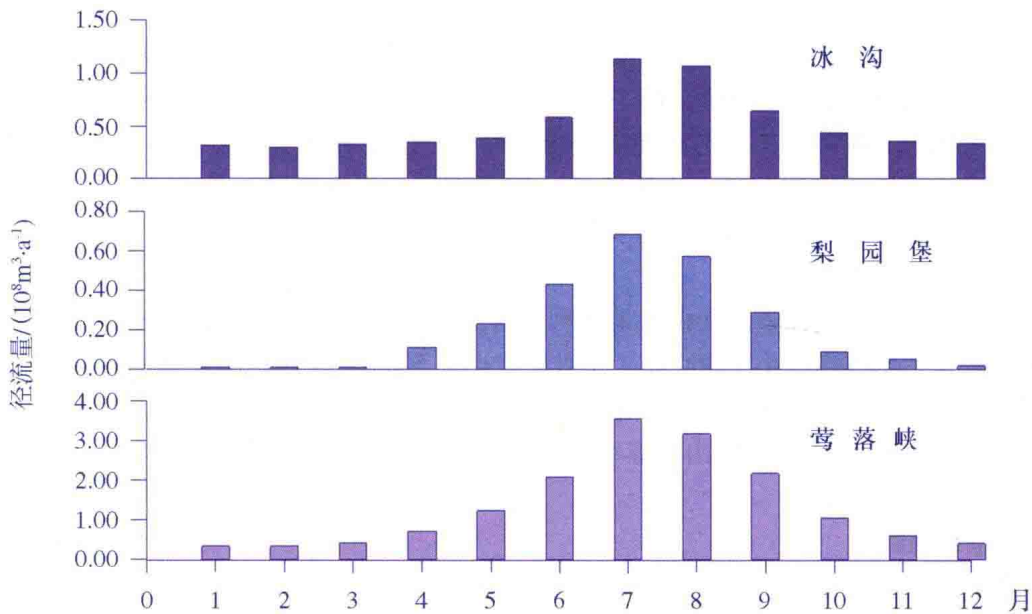


图 1.3 流域主要水文测站径流量年内分配图

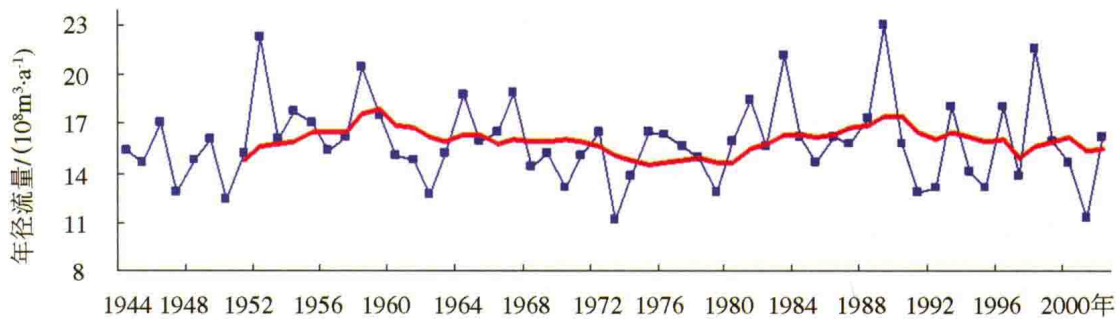


图 1.4 黑河（莺落峡）径流量多年变化曲线

(2) 湖泊

黑河流域天然湖泊较少，仅在额济纳旗境内存有东居延海和西居延海，为黑河干流的尾间湖泊。历史上，两湖均为淡水湖，20 世纪 50 年代以前，额济纳河是一条常年流水的河，随着黑河下泄水量的减少，到 60 年代每年只有春汛和秋汛两次泄水，春汛一般只持续 1 个月，秋汛一般也不超过 2 个月，其余时间河道断流。到 80 年代，一般只有秋汛供水。90 年代以来秋季供水期一般只有 7~10 天，几乎变成全年断流的沙河。东、西居延海在 60 年代以前一直是黑河下游最大的终端湖，西居延海在 1960 年尚有水面 213km²，于 1961 年秋全部干涸至今，已成龟裂盐壳地和砾漠覆盖区，东居延海在 70 年代时有水域 32.3km²，到 1982 年时，水域面积缩减为 23.6km²，且在 1973 年和 1980 年出现几次干枯现象，进入 90 年代后则基本干涸（表 1.2）。

表 1.2 黑河流域主要湖泊水域面积变化情况表 单位：km²

湖 泊	20 世纪 30 年代	20 世纪 40 年代	20 世纪 50 年代	20 世纪 60 年代	20 世纪 70 年代	20 世纪 80 年代	20 世纪 90 年代	2001 年后
西居延海	350	276	267	213	1961 年干涸			
东居延海	150	58.4	53.3	35.5	32.3	23.6	1992 年干涸	人工放水

1.1.2 地形地貌

黑河流域南部为青藏高原，北部为甘肃北山，根据构造、地形条件，东、中、西三水系上游为地势高峻的祁连山区，向北进入河西走廊-额济纳平原区，区域上主要可划分为四个地貌类型。